

沿江典型区域杨树大径材人工林复合经营研究

刘俊龙¹, 吴中能^{1*}, 苗婷婷¹, 丁昌俊², 苏晓华², 孙 慧¹, 闫彩霞¹, 杨传宝³

(1 安徽省林业科学研究院, 合肥 230088; 2 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 3 大观区林长制办公室, 安庆 246000)

摘要: 为优选长江沿江典型区域杨树大径材复合经营模式, 通过对杨树大径材培育周期内的 5 个典型复合经营模式生长和经济效益分析, 结果显示: 参试林农复合经营模式下杨树的胸径、树高、单位面积蓄积量分别比纯林增加 15.31% (YM) ~20.92% (YYD)、9.52% (YM) ~11.31% (YY)、45.66% (YM) ~61.38% (YYD)。采用间作模式的 6 年生杨树复合经营总收益均大于杨树纯林, 杨树间作模式的总产值为杨树纯林的 2.78 (YM) ~4.47 倍 (YYD)。采用多作物间作模式总收益及总产值明显高于单作物间作模式, 其中套种 6 年杨树-油菜-黄豆(YYD)模式累计总收益 (11905 元/667m²) 最高, 杨树-小麦-黄豆 (YMD) 累计总收益 (11599 元/667m²) 次之。5 个模式下 6 年生杨树木材收益由高到低为 YYD(7244 元/667m²)>YMD(7197 元/667m²)>YY(7106.5 元/667m²)>YM(6539.6 元/667m²)>YC(4408.48 元/667m²)。YYD 是促进大径材杨树生长、材积和经济效益最高的优选模式, 为长江沿江典型区域杨树的大径材培育和复合经营策略提供参考。

关键词: 沿江地区; 杨树大径材; 林农复合经营; 产投比; 收支平衡

Study on Compound Management Techniques for Cultivating Big-diameter Timber Poplar Plantations in Typical Areas along the Yangtze River

LIU Junlong¹, WU Zhongneng¹, MIAO Tingting¹, DING Changjun², SU Xiaohua², SUN Hui¹, YAN Caixia¹, YANG Chuanbao³

(1. Anhui Academy of Forestry, Hefei 230088, Anhui, China; 2. Forestry Research Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Forest Supervisor System Office of Daguan District, Anqing 246000, Anhui, China)

Abstract: In this paper, an analysis was made on the growth and economic benefits of 5 typical compound management modes for cultivating big-diameter poplars in the cultivation period to select the best compound management mode for growing big-diameter poplars in suitable areas along the Yangtze River and provide reference for the big-diameter poplar cultivation and compound management strategy in these areas. The results showed that the DBH, tree height and per-unit-area volume of the poplars in the tested agroforestry compound management modes increased by 15.31% (YM) ~20.92% (YYD), 9.52% (YM) ~11.31% (YY) and 45.66% (YM) ~61.38% (YYD) respectively compared with those of the pure poplar plantation. The total incomes of the 6-year-old poplars in the intercropping compound management mode were all higher than those gained from pure poplar plantations with the total output value 2.78 ~4.47 times higher than that of the pure poplar plantations. The total income and total output value in the multiple-crop intercropping modes were all significantly higher than those in the single-crop intercropping mode, in which the 6-year-old poplar - oilseed rape - soybean intercropping mode (YYD) produced the highest total income of 11 905 yuan /667m², followed by the poplar - wheat -soybean mode (YMD) with the total income of 11 599 yuan /667m². From the highest to the lowest, the income from timber of the 6-year-old poplars in the 5 modes was YYD (7 244 yuan /667m²)>YMD (7 197 yuan /667m²) >YY (7 106.5 yuan /667m²)>YM(6 539.6 yuan /667m²)>YC (4 408.48 yuan /667m²). The poplar - oilseed rape - soybean intercropping mode (YYD) is the optimized mode promoting big-diameter poplar growth, increasing timber volume and having the highest economic benefits.

Keywords: Big-diameter poplars; Areas along the Yangtze River; Agroforestry compound management;

Input-output ratio; Balance between income and expense

随着建筑业、装修业和造纸业等行业迅猛发展,市场对木材的需求也日益剧增,特别是大径级木材的需求也越来越大。充分利用杨树的速生性和高生产力的特点,大力培育杨树大径级材工业用材林,不但有助于解决我国大径级材短缺的问题^[1],满足经济社会的发展对木材的需求,且能够获得很大的经济效益。杨树作为沿江平原地区主要的造林树种之一,大径材杨树种植面积广阔,培育周期长,栽植密度大,短期内无法获得收益,充裕的林地资源为发展杨树林农复合经营提供了较好的空间,不充分利用林下潜力将导致长期巨大的土地资源浪费^[2-3]。实施林下种植、养殖等农林复合经营是充分利用林下资源重要的手段^[4-5],在有限的空间构建多层次的立体化结构,时间上科学合理地配置杨树与林下间作物的种类,形成各式各样的林农复合经营模式,既充分利用林下空地,使林地发挥更大的生产潜力,又提高林地土壤肥力,改善生态环境^[6],同时增加林农收入,促进林、农业高效稳定发展。然而林农复合经营具有长期性和复杂性的特点,探索适合当地并的农林复合经营模式对区域经济社会的可持续发展具有现实意义^[7]。

因此,本文针对长江流域典型的农林复合经营模式开展研究,调查林木生长状况、作物产量及经济效益差异,为沿江地区大径材杨树农林复合经营策略提供参考。

1 研究区概况

试验地位于安庆市大观区南埭林场(东经 116°58'18"、北纬 30°28'15"),位于安徽省西南部,长江下游,是我国夏季洪灾多发的典型周期性季节性淹水区域。其地属北亚热带湿润季风气候,具有四季分明、雨量充沛、光照充足等特点,平均气温 16.5℃,降水量约 1368mm;土壤为冲积潮土类。

2 材料与方法

2.1 研究方法

2.2.1 样地设置

试验林选取 2016 年插干造林地,参试品种‘XL90’是耐淹水且表现稳定的杨树品种,造林密度 3m×8m,行向南北,自 2016 年起,分别设置固定样地与对照样地,连续 6 年不间断进行复合经营间作。各处理样地水肥及抚育管理一致。(1)对照样地:根据不同复合模式,分别设置无林地纯农经营对照样地 3 块,每块面积 30m×24m,对照样地不设置间作;(2)林农复合模式样地:根据季节时序调控原理,分别设置①杨-麦(YM 模式一)、②杨树-油菜(YO 模式二)、③杨树-小麦-大豆(YMD 模式三)、④杨树-油菜-大豆间作(YOD 模式四)及⑤杨树无间作(YC 模式五)5 个模式,每个模式分别设置 3 块固定样地作为重复,每块面积 30m×24m。

2.2.2 测定指标

2016 年起,连续研究杨粮五个模式下林木及作物单位面积产量等,包括树高、胸径等杨树生长量,杨粮间作模式中小麦、油菜、黄豆单位面积的产量等。

2.2.3 测定方法

采用胸径卷尺、测高仪等工具测量杨树胸径、树高;采用公式(1)计算单株材积;对各模式类型中小麦、油菜、黄豆的产量在成熟期采取实际收割产量的方式进行测产,并计算亩产。

$$V=0.00572+0.66056D^2+0.66667D^2H-0.63862D^3H+0.3945D^2H\times\log_{10}(D) \quad (1)$$

(其中 D 为 1.3 m 处胸径, H 为树高,单位均为 m)

2.2.4 投产比的确定

根据市场行情,估算苗木、种子、人工、肥料、木材、作物产量等投入。农作物产投比按公式(2)计算。

$$\text{产投比} = \frac{\text{收入}}{\text{投入}} \quad (2)$$

3 数据统计与分析

利用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0 等数据处理系统对试验数据进行统计分析。

4 结果与分析

4.1 杨-麦 (YM) 复合模式效益分析

从表 1 和表 5 可以得出, YM 模式的胸径、树高、单位面积蓄积较纯林增加了 3.57% (第 2 年)~15.3 1% (第 6 年)、4.76% (第 2 年)~16.03% (第 4 年)、0.21% (第 1 年)~46.39% (第 3 年), 杨树的胸径从第 4 年起出, 连年生长量均超过了 4cm/年, 第 5、6 年的单位面积的林木蓄积增长量也明显增加。第 4 年 YM 模式下小麦产量 (265.1kg/667m²) 开始出现明显下滑, 比第三年 (265.1kg/667m²) 减少了 72kg/667m²。第 5 年间作物的产投比为 1.23, 复合间作产投比基本持平, 第 6 年产投比为 0.63。

表 1 杨-麦复合模式综合效益表

造林年限	胸径	树高/	单株蓄积	单位面	小麦	小麦	农作物		林木投	木材收	木材产	总产值/元	总投入/	总产
	/	m	量/	积蓄	产量/	收入/	投入/	农作物	入/	益/	投比	/667m ²	元/667m ²	投比
	cm		m ³	/m ³ /667m ²	Kg/667m ²	元/667m ²	元/667m ²	产投比	元/667m ²	元/667m ²				
第 6 年	22.6	18.4	0.2919	8.1745	123.3	345.2	545.0	0.63	80.0	6539.6	81.7	6884.8	625.0	11.0
第 5 年	18.7	15.5	0.1694	4.7420	239.0	669.2	545.0	1.23	50.0	3793.6	75.9	4462.8	595.0	7.5
第 4 年	13.2	12.3	0.0680	1.9043	265.1	742.3	555.0	1.34	50.0	1523.5	30.5	2265.8	605.0	3.7
第 3 年	10.4	9.5	0.0346	0.9678	337.0	943.6	560.0	1.69	50.0	774.2	15.5	1717.8	610.0	2.8
第 2 年	5.8	6.6	0.0111	0.3112	346.6	970.5	565.0	1.72	0.0	249.0	/	1219.4	565.0	2.2
第 1 年	3.5	4.0	0.0069	0.1924	424.0	1187.2	575.0	2.06	300.0	153.9	0.5	1341.1	875.0	1.5
对照					446.0	1248.8	580.0	2.15				1248.8	580.0	2.2

备注: 小麦价格 2.8 元/kg, 木材价格 (800 元/m³), 下表同。

4.2 杨-油 (YY) 复合模式效益分析

YY 复合模式下的胸径、树高、单位面积蓄积较纯林增加了 2.86% (第 1 年)~20.45% (第 3 年)、7.9 4% (第 2 年)~18.87% (第 4 年)、1.45% (第 2 年)~55.60% (第 4 年) (表 2 和表 5), 第 6 年的间作总收益可达到 6908.68 元 (图 1), 其中农作物油菜产投比为 0.80, 此时农作物的收益为-117.80 元, 木材收益 7106.48 元, 6 年累计收益为 9138.58 元/667m² (木材收益+6 年作物收益)。研究结果发现, 该模式下第 5 年农作物产投比为 1.04, 达到该复合模式下农作物产投的经济效益平衡点, 即该模式下的杨-油复合经营从第 6 年起则不适宜再进行间作经营。

表 2 杨-油复合模式综合效益表

造林年限	胸径/	树高/	单株蓄积	单位面	油菜	油菜	农作物投	农作物	林木投入/	木材收益/	木材产	总产值/	总投入/	总产投
	cm	m	量/	积蓄/	产量/	收入/	入/		元/667m ²	元/667m ²	投比	元/667m ²	元/667m ²	比
			m ³	m ³ /667m ²	kg/667m ²	元/667m ²	元/667m ²	产投比						
第 6 年	23.4	18.7	0.3173	8.8831	73.0	467.2	585.0	0.80	80	7106.481	88.83	7573.68	665.00	11.39
第 5 年	19.2	15.7	0.1821	5.0989	95.0	608	585.0	1.04	50	4079.114	81.58	4687.11	635.00	7.38
第 4 年	13.6	12.6	0.0736	2.0617	131.0	838.4	595.0	1.41	50	1649.344	32.99	2487.74	645.00	3.86
第 3 年	10.6	9.6	0.0365	1.0214	162.0	1036.8	600.0	1.73	50	817.1473	16.34	1853.95	650.00	2.85
第 2 年	6.0	6.8	0.0117	0.3277	199.8	1278.7	605.0	2.11	0	262.1778	/	1540.90	605.00	2.55
第 1 年	3.6	4.2	0.0070	0.1965	220.0	1408	635.0	2.22	300	157.2013	0.52	1565.20	935.00	1.67
对照					233.0	1491.2	540.0	2.76				1491.20	540.00	2.76

备注: 油菜市场价格 6.4 元/kg, 木材价格 (800 元/m³), 下表同。

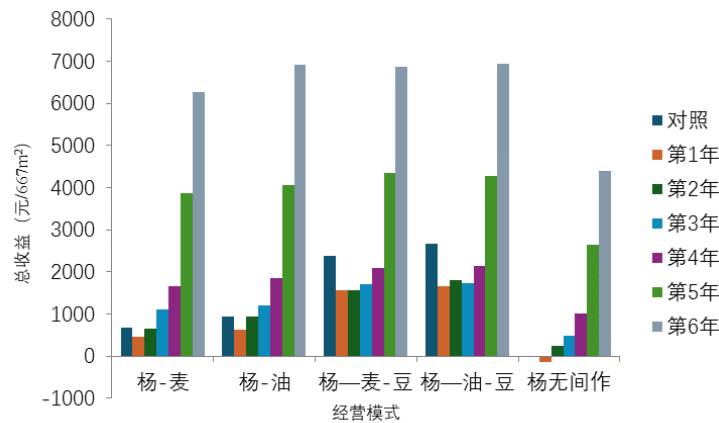


图 1 复合经营模式总效益图

4.3 杨-麦-豆（YMD）复合模式效益分析

YMD 复合模式下的胸径、树高、单位面积蓄积较纯林增加了 5.36%（第 2 年）~21.59%（第 3 年）、3.17%（第 2 年）~17.92%（第 4 年）、0.83%（第 2 年）~60.35%（第 6 年）（表 3 和表 5）。间作第 4 年的收益与对照收益基本持平。到了第 5 年，随着林木进入速生期，林木蓄积量快速增长，木材的总收益（43 45.12 元，图 1）显著提高，比间作模式下第 3 年总收益高出 2600 余元，但在第 5 年农作物的产投比达到 1.19，即出现该模式下的间作经济收益平衡点。6 年累计收益为 11599 元/667m²（木材收益+6 年作物收益）。

表 3 杨—麦-豆复合模式综合效益表

造林 年限	胸 径 cm	树 高 m	单株	单位	小麦	黄豆	小麦	黄豆	农作	农作	农	林木投	木材	木材	总产值	总投入	总产
			蓄积量 m ³	面积蓄积/ m ³ /667m ²	产量/kg/6 67m ²	产量/kg/6 67m ²	收入/ 元/667m ²	收入/ 元/667m ²	物收入/元/ 667m ²	物投入/元/ 667m ²	作物产 投比	入/元/6 67m ²	收益/元/ 667m ²	产投比	/元/667m ²	/元/667m ²	投比
第 6 年	23.6	18.6	0.3213	8.9967	123.3	81.0	345.2	486.0	831.2	1090.0	0.76	80	7197	89.97	8028.57	1170.00	6.86
第 5 年	19.4	15.8	0.1869	5.2324	239.0	105.0	669.2	630.0	1299.2	1090.0	1.19	50	4186	83.72	5485.12	1140.00	4.81
第 4 年	13.7	12.5	0.0746	2.0901	265.1	142.0	742.3	852.0	1594.3	1110.0	1.44	50	1672	33.44	3266.39	1160.00	2.82
第 3 年	10.7	9.6	0.0370	1.0368	337.0	186.0	943.6	1116.0	2059.6	1120.0	1.84	50	829	16.59	2889.07	1170.00	2.47
第 2 年	5.9	6.5	0.0113	0.3171	346.6	245.0	970.5	1470.0	2440.5	1130.0	2.16		254	/	2694.13	1130.00	2.38
第 1 年	3.5	4.1	0.0069	0.1936	424.0	280.0	1187.2	1680.0	2867.2	1150.0	2.49	300	155	0.52	3022.12	1450.00	2.08
对照					446.0	304.0	1248.8	1824.0	3072.8	680.0					3072.80	680.00	4.52

备注：黄豆市场价格 6.0 元/kg，木材价格（800 元/m³），下表同。

4.4 杨-油-豆（YYD）复合模式效益分析

从表 4 和表 5 可以得出，YYD 复合模式下的胸径、树高、单位面积蓄积较纯林增加了 2.86%（第 1 年）~22.72%（第 3 年）、5.26%（第 1 年）~18.66%（第 5 年）、1.61%（第 1 年）~61.39%（第 6 年）。前 4 年的复合经营总收益也表现出明显均低于对照纯农作物收成，一方面是受对照样地套种的作物市场价格影响，另一方面是前 4 年杨树的单位面积蓄积量不大、木材收益不高的原因造成的。随着间作地林龄的增加，作物的产投比逐渐降低，林木的产投比逐渐增加，到第 5 年时，间作样地的总经济效益超过对照，第 6 年时，该复合模式下总收益达到 6947.29 元，林木生长迅速，单位面积蓄积量达到 9.0551m³/667m²，林木产投比达到 90.55，而同时该年度的间作物产投比小于 1，即间作投入大于间作收入，间作经济效益收益出现时间上的拐点。

表 4 杨—油-豆复合模式综合效益表

造林年 限	胸径 /cm	树高 /m	单株	单位面积 蓄积/m ³	油菜		黄豆		农作物 投入/ 元/667m ²	农作物 收益/ 元/667m ²	农作物 产投比	林木	木材	木材 产投比	总产值/ 元/667m ²	总投入/ 元/667m ²	总产 投比
			蓄积量 /m ³		产量/ kg/667m ²	收入/ 元/667m ²	产量 /kg/667m ²	收入/ 元/667m ²				投入/ 元/667 m ²	收益/元/ 667m ²				
第 6 年	23.7	18.6	0.3234	9.0551	73.0	81.0	467.2	486.0	1170.0	486	0.81	80	7244	90.55	8197.29	1250.00	6.56
第 5 年	19.6	15.9	0.1907	5.3395	95.0	105.0	608.0	630.0	1170.0	630	1.06	50	4272	85.43	5509.60	1220.00	4.52
第 4 年	13.8	12.5	0.0755	2.1134	131.0	142.0	838.4	852.0	1190.0	852	1.42	50	1691	33.81	3381.09	1240.00	2.73
第 3 年	10.8	9.7	0.0374	1.0481	162.0	186.0	1036.8	1116.0	1200.0	1116	1.79	50	838	16.77	2991.26	1250.00	2.39
第 2 年	6.1	6.7	0.0119	0.3327	199.8	245.0	1278.7	1470.0	1210.0	2748.7	2.27		266	/	3014.85	1210.00	2.49
第 1 年	3.6	4.0	0.0070	0.1951	220.0	280.0	1408.0	1680.0	1270.0	3088.0	2.43	300	156	0.52	3244.12	1570.00	2.07
对照					233.0	304.0	1491.2	1824.0	640.0	3315.2	5.18				3315.20	640.00	5.18

4.5 杨树无间作效益分析

杨树无间作模式下，第一年产投比为 0.51，总收益为-146.38 元（图 1），投入大于产出。第 2 年开始，随着林木的单位面积蓄积量的增加，木材收益增加，总收益出现正增长，到第 6 年时，杨树平均胸径达到 19.6cm，单位面积蓄积达到 5.6106 m³/667m²，总收益达到 4408.48 元。

表 5 杨无间作综合效益表

造林年 限	胸径/ cm	树高/ m	单株蓄 积量/ m ³	单位面积	林木	木材收	总产值/ 元	总投入/ 元	总产 投比
				蓄积/ m ³ /667m ² 2	投入/元/66 7m ²	益/ m ³ /667m ² 2			
第 6 年	19.6	16.8	0.2004	5.6106	80	4488	4488.48	80.00	56.11
第 5 年	16.8	13.4	0.1203	3.3695	50	2696	2695.58	50.00	53.91
第 4 年	11.7	10.6	0.0473	1.3249	50	1060	1059.89	50.00	21.20
第 3 年	8.8	8.5	0.0236	0.6611	50	529	528.86	50.00	10.58
第 2 年	5.6	6.3	0.0105	0.2940	0	235	235.19	0.00	/
第 1 年	3.5	3.8	0.0069	0.1920	300	154	153.62	300.00	0.51

5 结论与讨论

5.1 不同复合模式对杨树大径材培育的影响

实行杨一农间作能有效提高木材生长量、培育出大径材林木^[8]。姜岳忠等人研究发现林木复合经营时的胸径、树高及材积生长量比纯林分别在最大程度上提升了 8.8%、3.4%、23%^[9]。卢克芝研究表明，杨树-大姜间作林木材积生长量比单植杨树提高 63.63%^[10]。本研究中，林农复合经营模式下大径材杨树的胸径、树高、单位面积蓄积量分别比纯林增加 15.31%（YM）~20.92%（YYD）、9.52%（YM）~11.31%（YY）、45.66%（YM）~61.38%（YYD），YYD 模式效果最佳。从大径材培育角度看，杨树林农间作可明显促进大径材杨树生长和材积积累，可能是因为在林农复合模式下，不仅可促进杨树林地的整体土壤养分含量增加，树木各部分对土壤养分的吸收也有显著影响^[8]。

5.2 不同复合模式的林地综合效益

杨树纯林的传统经济价值表现为成材大径材杨树的砍伐与销售^[3]，经济形式单一，林农复合经营丰富了杨树林的利润来源。在不同的间作模式下，随着间作年度的增加，间作物的收益均呈现降低趋势，第 5 年间作物的产投比逐渐接近于 1.0，即 4 种间作模式下的收益均在第 5 年时达到经济上的收支平衡点，效益收入和生产成本投入基本相当。间作下林木的收益随着时间的增长出现明显的增加趋势，表现在第 5 年收益增长率最高。间作模式下总经济效益高于未间作模式的 41.99%（YM）~57.59%(YYD)，一年两季间作总收益均高于一年单季间作总收益，一方面可能是由于当年度只间作 1 次单季作物以耕代抚的效果没有

实施两季间作明显；另一方面可能是因为大豆作为豆科植物，其固氮能力可增加土壤氮含量^[11]，提高土壤培肥力，促进杨树蓄积量的提高，从而增加经济效益。除第 5 年外，YYD 模式的总收益均高于 YMD 模式，可能与小麦的市场价格及该模式下木材的单位面积蓄积量有关，同时油菜作为浅短直根间作物^[12]，与杨树空间养分矛盾较深根作物小麦更小，更利于杨树水分和营养物质的吸收。

综上所述，一年间作两季作物复合模式对大径材杨树生长、蓄积量和经济效益的提高有明显的积极作用，其中 YYD 是促进大径材杨树生长、材积和经济效益积累的最佳复合经营模式。杨树农林复合模式下，间作促进了大径材杨树生长，提供了土地利用率，增加了土地的附加值，有效促进杨树产业经济的发展。

参考文献

- [1] 闫明.基于地理设计的国家储备林空间布局优化决策研究[D].中国林业科学研究院,2018.
- [2] 梁春燕.杨树大径材培育若干技术问题的探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)农业科学, 2022(8):4.
- [3] 张艳华.大径材杨树培育及林下间作技术应用研究[J].农业与技术,2021,41 (20):91-93.
- [4] 孙圆,梁子瑜,汪贵斌,等.农林复合经营工程领域研究热点与前沿分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(6): 228-235.
- [5] 曹件生,徐小静,周顺元.4 种经济林复合经营模式及其经济效益分析[J].农业科技通讯, 2012(5):227-230.
- [6] 洪传春.我国农林复合经营存在问题与对策 [J]. 中国林业经济, 2016, (04): 1-4.
- [7] 王蒙.林农复合系统生态经济效益分析——以石首市为例[D].华中农业大学,2013.
- [8] 陈慧碧.黄泛平原地区杨树复合经营模式调查及典型林农经营效益的研究[D].北京林业大学,2019.
- [9] 姜岳忠,王桂岩,吕雷昌等. 杨树纸浆材定向培育技术研究 [J]. 林业科学, 2004, (01): 123-130.
- [10] 卢克芝. 杨树人工林高效栽培模式研究[D]. 山东农业大学, 2008.
- [11] 房彦飞,徐文修,符小文等. 麦-豆周年不同施氮组合对复播大豆土壤肥力及周年产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2022, (06): 64-72.
- [12] 郭鹏程.甘蓝型油菜中调控根系发育 GRAS 和 ARF 基因的鉴定[D].西南大学,2019.

基金项目：“十四五”国家重点研发计划课题“杨树大径级工业资源材精准高效培育技术研究”(2021YFD2201200)。